Energy, Mines and Resources Canada | Énergie, Mines et Ressources Canada

CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology | Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

RESUME DES ETUDES EFFECTUEES DANS DES MINES SOUTERRAINES SUR LES FILTRES EN CERAMIQUE ET LES EPURATEURS CATALYTIQUES RETENANT LES PARTICULES REJETEES PAR LES MACHINES DIESEL

E.D. Dainty, M.K. Gangal, D.H. Carlson,
H.C. Vergeer et E.W. Mitchell

Février 1986

Ce document sera présenté à l'assemblée générale annuelle de l'Institut canadien des mines et de la métallurgie qui se tiendra à Montréal le 14 mai 1986 et à l'assemblée générale de l'American Mining Congress qui aura lieu à Las Vegas (Californie) le 7 octobre 1986; il sera publié dans le volume spécial intitulé "Diesel Emission Control Technology for Underground Mines"

DROITS DE LA COURONNE RESERVES

Ce document est ... l'autorisation du Centre ... la technologie des ... de l'énergie (CANMET)

42 pp

TECHNOLOGIE DES MINERAUX ET DE L'ENERGIE
LABORATOIRES DE RECHERCHE MINIERE
RAPPORT DE DIVISION TM&E/LRM 86-20(OP,J)

MICROMEDIA

COMMUNICATION N° 4

RÉSUMÉ DES ÉTUDES EFFECTUÉES DANS DES MINES SOUTERRAINES SUR LES FILTRES EN CÉRAMIQUE ET SUR LES ÉPURATEURS CATALYTIQUES RETENANT LES PARTICULES REJETÉES PAR LES MACHINES DIESEL

par

E.D. Dainty*, M.K. Gangal**, D.H. Carlson***,
H.C. Vergeer† et E.W. Mitchell††

Mots clés: additifs, qualité de l'air, dioxyde de carbone, monoxyde de carbone, catalyseurs, rejets par les machines diesel, filtres, cycles de chargement, chargeur-transporteur, expositions dans une mine, oxydes d'azote, régénération, suie, soufre, aération.

RÉSUMÉ

Un nombre appréciable d'essais sur le terrain portant sur les dispositifs de filtration des gaz d'échappement des moteurs diesel (y compris l'application de différents traitements) ont été réalisés dans le cadre des études du "Collaborative Diesel Research Advisory Panel" effectuées en collaboration avec quatre mines importantes actuellement en exploitation au Canada.

Cette communication résume les résultats des études sur le terrain portant sur la performance des dispositifs de filtration en céramique servant à piéger les particules rejetées par les moteurs diesel, notamment celles sur la durabilité et l'entretien, les conditions de régénération des filtres avec ou sans additifs dans le carburant ou de revêtements catalytiques, la contrepression résultante et les répercussions de la filtration sur l'environnement.

*Agents de recherche, Laboratoires de recherche minière, Canada.
**Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET), EMR, Ottawa (Ontario) Canada.
***Senior Research Engineer, Institute of Materials Processing, Michigan Technological University (MTU), Houghton, Michigan, États-Unis.
†Directeur, Technologie des émissions, Fondation de recherches de l'Ontario (FRO), Mississauga (Ontario) Canada.
††Coordonnateur de la recherche, Direction de la santé et de la sécurité dans les mines, Ministère du Travail de l'Ontario, Toronto (Ontario) Canada.

PAPER NO. 4

A SUMMARY OF UNDERGROUND MINE INVESTIGATIONS OF CERAMIC DIESEL PARTICULATE FILTERS AND CATALYTIC PURIFIERS

by

E.D. Dainty*, M.K. Gangal**, D.H. Carlson***, H.C. Vergeer†, and E.W. Mitchell††

keywords: additives, air quality, carbon dioxide, carbon monoxide, catalysts, diesel emissions, filters, load cycles, load-haul-dump, mine exposures, oxides of nitrogen, regeneration, soot, sulphur, ventilation.

ABSTRACT

Considerable field testing of diesel exhaust filtration devices (including application of different system options), has been completed in connection with the "Collaborative Diesel Research Advisory Panel" studies in cooperation with four major operating mines in Canada.

This paper summarizes the results of field studies relating to ceramic diesel particulate filtration system performance including: durability and maintenance, conditions for filter regeneration with and without fuel additives or catalyst coatings, the resulting backpressure considerations, and the impact of filtration on the environment.

*Research Scientists, Mining Research Laboratories, Canada.
**Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET), EMR, Ottawa, Ontario, Canada.
***Senior Research Engineer, Institute of Materials Processing, Michigan Technological University (MTU), Houghton, Michigan, U.S.A.
†Manager, Emissions Technology, Ontario Research Foundation (ORF), Mississauga, Ontario, Canada.
††Research Coordinator, Mining Health and Safety Branch, Ontario Ministry of Labour (MOL), Toronto, Ontario, Canada.

INTRODUCTION

Un système transportable d'analyse a été mis au point par la Michigan Technological University (MTU) en vertu d'un contrat pour le compte du U.S. Bureau of Mines; ce système a été utilisé par une équipe constituée de membres de la MTU, du CANMET et de la Fondation de recherches de l'Ontario (FRO) pour effectuer un certain nombre d'analyses dans l'environnement minier (notamment dans des mines de charbon, de sel, de nickel, de zinc et de potasse), en vue d'évaluer la concentration des polluants et les répercussions dans ce milieu des nouveaux concepts de diminution des émissions des moteurs diesel. On décrit en détail à la référence (1) la mise en place d'un système transportable de ce type dans une mine de sel, pour le compte du Ministère du Travail de l'Ontario.

Ces systèmes ont permis de déterminer la concentration moyenne pondérée sur le temps (TWA), exprimée en % ou en ppm, de quatre gaz, soit le dioxyde de carbone (CO_2), le monoxyde de carbone (CO), l'oxyde nitrique (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2), ainsi que la teneur en poussières combustibles inhalables (une mesure de la quantité de suie produite par les moteurs diesel, exprimée en mg/m^3), car on utilise de nombreuses stations d'échantillonnage au cours d'une étude. Ces valeurs, ainsi que la concentration calculée de SO_2, sont nécessaires pour déterminer, à l'aide de l'indice de qualité de l'air (AQI) décrit en (2), la toxicité globale de tous les principaux constituants des gaz d'échappement des moteurs diesel et pour relier ces valeurs à la concentration de CO_2, pour les raisons données ci-après. Pour permettre de faire des comparaisons, le rapport SO_2/H_2SO_4 a été calculé pour toutes les mines, en supposant une concentration de soufre de 0,2 % en masse dans le carburant. La concentration réelle variait de 0,16 à 0,23 %. On a également déterminé, dans une station d'échantillonnage, les concentrations instantanées en temps réel des quatre principaux gaz, afin de les comparer et de confirmer les moyennes pondérées sur le temps et de définir les variations des cycles de fonctionnement des machines.

De telles mesures sur le terrain permettent d'évaluer la qualité de l'air avec ou sans des dispositifs de dépollution ou en comparant un dispositif à un autre. Ces études détaillées ont été effectuées dans quatre mines canadiennes pour évaluer, avec des chargeurs-transporteurs, la performance des filtres en céramique destinés à piéger les particules rejetées par les moteurs diesel (DPF), par rapport à celle des épurateurs monolithiques catalytiques largement utilisés.

En outre, deux études réalisées dans des mines souterraines ont permis de déterminer les variations de température des gaz d'échappement au cours de plusieurs cycles de chargeurs-transporteurs; ces études avaient pour but de caractériser la régénération de la suie (ce qui est nécessaire pour prévenir l'accumulation d'une contre-pression excessive). La température est un paramètre important, car elle permet de déterminer quelle méthode de filtration peut être appliquée dans des conditions où on utilise des moteurs diesel classiques à quatre temps. Les résultats des études portant sur l'environnement et la température sont décrits ci-dessous.

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE SUR LE TERRAIN DE LA PERFORMANCE DES FILTRES EN CÉRAMIQUE ET DES ÉPURATEURS CATALYTIQUES

Ces études portent sur plusieurs aspects de la technologie des filtres en céramique: (1) évaluation de l'environnement, (2) dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), (3) tests de mutagénicité d'Ames, (4) évaluation de la régénération et (5) durabilité des filtres. Les points (1), (4) et (5) sont examinés ci-dessous. Les points (2) et (3) sont examinés dans (2) et le point (2) est repris plus en détail dans (4) - voir article n° 5 dans le présent volume. La configuration du filtre est décrite en (5) - voir article n° 3 dans le présent volume.

FILTRES EN CÉRAMIQUE NON ASSISTÉS POUR PIÉGER LES PARTICULES REJETÉES PAR LES MOTEURS DIESEL (FILTRES DPS)

Deux évaluations environnementales de la performance de filtres DPS non assistés ont été réalisées dans deux mines de métaux au Canada. La mention non assisté signifie que la température d'inflammation de la suie retenue sur les filtres DPF n'était pas abaissée par l'utilisation d'additifs dans le carburant ou par l'emploi de revêtements catalytiques. De tels filtres non assistés peuvent supporter des températures de gaz d'échappement élevées et peuvent donc être appliqués à un nombre limité de machines.

On a installé des appareils de mesure de la qualité de l'air dans le circuit d'alimentation en air de la zone de contrôle et dans le circuit d'évacuation de l'air usé de la même zone, afin d'évaluer l'apport de polluants par les moteurs diesel durant la période de contrôle. Ces évaluations ont été réalisées dans les conditions de base (dans les deux cas présents, il s'agissait de moteurs Deutz IDI, de 8 et de 10 cylindres, refroidis à l'air munis d'un épurateur catalytique) et avec un filtre en céramique DPF "non assisté", pour comparer directement la qualité de l'air dans les deux cas et pour évaluer l'amélioration du milieu. La durée minimale de fonctionnement des moteurs doit être de trois jours dans chaque cas et la durée minimale de l'échantillonnage doit être de trois heures par jour, si l'on désire récupérer une quantité de suie suffisante, par exemple, pour obtenir des résultats acceptables.

En outre, un ensemble d'échantillonnage donnant des moyennes pondérées sur le temps est fixé au chargeur-transporteur à proximité de la zone d'inhalation de l'opérateur, pour évaluer directement l'exposition de ce dernier aux polluants rejetés par le moteur diesel.

Les concentrations moyennes pondérées sur le temps, obtenues à ces trois stations avec les deux systèmes de dépollution étudiés à la mine n° 1, sont tirées de (6) et sont données au Tableau 1. Dans ce cas, le moteur avait presque atteint la fin de son cycle d'entretien et devait faire bientôt l'objet d'une révision.

Il y a lieu de remarquer que, dans les Tableaux 1, 2 et 3, "mesurée" désigne les concentrations réelles des polluants dans le milieu, tandis que "corrigée" désigne les concentrations calculées qui ont été corrigées après

l'obtention d'autres résultats, dont les valeurs reflètent mieux la per formance confirmée des dispositifs de contrôle étudiés (voir les calculs de l'Annexe I).

Un certain nombre de points importants se dégagent de l'analyse des données du tableau 1. Tout d'abord, l'efficacité mesurée du filtre est faible, c.-à-d. environ 40 % au lieu des 80 à 90 % qui avaient été calculés lors d'évaluations minutieuses de l'efficacité et de la chute de pression réalisées ultérieurement par essais dynamométriques. Au moins deux facteurs contribuent à diminuer sous le seuil de performance établi cette valeur mesurée sur place: l'un d'eux est la présence de gouttelettes d'huile en suspension dans l'air produites lors du forage réalisé pendant les quatre jours qu'ont duré les essais avec des catalyseurs et pendant le premier jour seulement des quatre jours qu'ont duré les essais avec des filtres. Un deuxième facteur est l'évaporation sur les surfaces chaudes du moteur d'une quantité considérable d'huile provenant de fuites; cette évaporation, qui est très manifeste, se présente sous forme de vapeur émanant du compartiment moteur et est visible dans le faisceau des phares du véhicule. Le premier facteur peut être évalué de façon approximative à partir de la différence de concentration des poussières combustibles inhalables entre le premier jour des essais avec le filtre et les trois jours suivants pendant lesquels il n'y avait aucun forage (voir calculs de l'Annexe I).

Il n'est pas facile de déterminer la quantité d'huile qui s'évapore à la suite d'une fuite. Cependant, d'après les premières observations à l'installation de la MTU (7) (voir article n° 6 dans le présent volume), l'évaporation sur des surfaces chaudes de petites quantités d'huile, de l'ordre de 14 g par heure (0,5 oz/h), consécutive à une fuite d'huile lubrifiante provenant des cache-soupapes, à une fuite de carburant et à une fuite d'huile hydraulique, est suffisante pour diminuer de moitié l'efficacité apparente du filtre. Évidemment, la grandeur de ces mesures, entraînant les corrections à l'Annexe 1, est insuffisante pour compenser totalement la part des poussières combustibles inhalables constituée par des substances autres que la suie. Il est clair que les mesures relatives aux poussières combustibles inhalables doivent être interprétées avec prudence dans les cas où il est impossible d'éviter les fuites et les gouttelettes d'huile en suspension.

L'efficacité apparente de conversion du CO par un épurateur catalytique, calculée d'après la valeur nette de la concentration au chargeur-transporteur et d'après la concentration dans l'air de retour, variait de 30 à 38 %. Cette valeur est, semble-t-il, plus faible que celle prévue si l'on se base sur la fréquence d'utilisation du chargeur-transporteur, mais il s'agit peut-être d'une plage raisonnable pour un paramètre susceptible de varier beaucoup avec l'âge du catalyseur et le cycle de charge.

Malgré les complications associées aux mesures de la teneur en poussières combustibles inhalables à la mine n° 1, on a pu, en utilisant le critère de l'IQA (indice de qualité de l'air), améliorer de 35 à 43 % la qualité de l'environnement de l'opérateur du chargeur-transporteur pour ce qui est des valeurs mesurées et corrigées, respectivement. Malheureusement, vu les deux erreurs de mesure apparentes dans les résultats concernant l'air de retour, il y a lieu de douter de l'indice d'amélioration de la qualité de l'air. On peut prévoir une valeur qui s'approche de 70 % lorsqu'on procède par filtra-

tion dans les conditions prévalant à la mine n° 1, pour des gaz d'échappement non traités et une efficacité de filtration de 90 % par comparaison à l'IQA et en ne supposant que des changements mineurs dans les constituants gazeux. L'efficacité de la filtration pourrait augmenter à une teneur plus élevée en soufre combustible, par rapport à celle du catalyseur, car ce dernier peut réduire le SO_2 en sulfate qui s'ajoute alors aux poussières combustibles inhalables (en supposant que la nouvelle concentration limite de 2 ppm pour le SO_2 n'est pas dépassée).

Dans le cas de la mine n° 1, les opérateurs ont exprimé leur satisfaction, car il y a eu manifestement épuration des gaz d'échappement après la mise en place des filtres.

Une deuxième étude (mine n° 2) a été réalisée dans le but d'obtenir plus de précision sur l'efficacité des filtres non assistés par rapport à celle des épurateurs catalytiques. Dans ce cas, le chargeur-transporteur était un Wagner ST8A, mû par un moteur F10L413FW récemment remis à neuf (moins de 500 h d'utilisation). La mise en place des appareils de mesure a été effectuée de la même façon que lors de l'étude décrite précédemment. Les résultats figurent au tableau 2.

Le tableau 2 donne les résultats sur l'amélioration environnementale, l'efficacité du catalyseur à réduire la teneur en CO et l'efficacité des filtres. Au cours de cette étude, il y avait manifestement des problèmes concernant les poussières combustibles inhalables mesurées au chargeur-transporteur lors des essais avec les catalyseurs. On a par conséquent obtenu des valeurs faibles pour l'amélioration de l'environnement et l'efficacité des filtres. Cependant, il ne semblait pas y avoir de problèmes concernant l'air de retour; ces mesures ont été effectuées au sommet d'une cheminée apparemment sèche (à l'oeil nu), relativement uniforme, de six pieds de diamètre, qui recueillait tout le courant d'aération provenant de la zone étudiée. Ainsi, particulièrement dans ce cas, le courant d'air échantillonné risquait plus d'avoir été intégré et bien mélangé et donc de donner des résul-tats plus fiables. Les résultats sur l'évaluation de l'air de retour à la mine n° 2 sont comparables aux résultats de même fiabilité obtenus au chargeur-transporteur à la mine n° 1. Ils indiquent une nette amélioration et, dans le cas de la mine n° 2, une efficacité satisfaisante du filtre, de presque 90 %, qui a été confirmée par des vérifications préliminaires de l'efficacité et de la chute de pression effectuées par essais dynamométriques.

FILTRES DPF EN CÉRAMIQUE ASSISTÉS PAR UN ADDITIF

En vue d'évaluer l'efficacité des filtres assistés par un additif, deux études ont été entreprises de manière semblable à celles décrites ci-dessus, avec des machines mues par des moteurs Deutz à 8 et à 10 cylindres, utilisées dans deux mines de métaux différentes de celles mentionnées précédemment et appelées mines n° 3 et n° 4. Dans le cas de la mine n° 3, l'additif était du manganèse utilisé à raison de 40 mg par litre de carburant; dans le cas de la mine n° 4, il s'agissait de 20 mg de manganèse et de 20 mg de cuivre par litre de carburant. Ces deux additifs provenaient de la Lubrizol Corporation.

Dans le cas de la mine n° 3, on n'a effectué aucune mesure sur les gaz, à l'exception du CO_2. De plus, en raison des courtes périodes d'échantillonnage, de l'évaporation possible d'huile provenant de fuites, de la présence possible de combustible dans la poussière de minerai et de problèmes avec le matériel d'analyse, il a été impossible d'obtenir des données utiles sur les poussières combustibles inhalables à partir desquelles on aurait pu tirer des conclusions. On a obtenu, sur la durabilité et sur la régénération, des résultats positifs qui sont donnés ci-dessous. L'étude est décrite au complet dans (8).

Dans le cas de la mine n° 4, les essais ont été effectués dans des conditions qui semblaient idéales. L'aération était bien définie et était relativement constante; la machine était toujours utilisée par la même personne, le moteur n'avait apparemment aucune fuite et on a réduit au minimum les perturbations causées par les perforatrices et autres véhicules diesel.

Les principaux résultats pondérés sur le temps concernant l'opérateur du chargeur-transporteur sont décrits dans (9); on a apporté certaines modifications aux données de (9), dont celles sur la teneur en CO rejeté par le chargeurtransporteur et sur la concentration de fond des matières particulaires et des poussières combustibles inhalables pour l'épuration catalytique; on a inclus ces données dans le traitement plus complet résumé au tableau 3.

Les données sur l'exposition de l'opérateur du chargeur-transporteur, consignées au tableau 3, sont intéressantes car les valeurs relatives aux gaz et aux matières particulaires peuvent être reliées de certaines façons aux nombreuses expériences de R et D effectuées dans des conditions contrôlées dans des installations pour essais dynamométriques. Par exemple, l'additif (80 mg de Mn/20 mg de Cu) a, semble-t-il, beaucoup diminué les concentrations de NO_2 lors des essais sur place avec le filtre, par rapport à ceux avec le catalyseur. Cette tendance se manifeste dans l'air environnant du chargeur-transporteur et dans l'air de retour, ce qui laisse supposer qu'elle n'est pas accidentelle. D'après les données dynamométriques obtenues en laboratoire, l'effet de diminution de la concentration de NO_2 (de 51 ppm à 49 ppm) dans les gaz d'échappement serait minimal lorsqu'on compare un essai avec filtre assisté par un additif à un essai sans traitement pour un chargeur-transporteur faiblement chargé (10), et cet effet serait total (de 25 ppm à 0 ppm) dans le cas d'un chargeur-transporteur faiblement chargé, pour les deux mêmes conditions (11). Même si ces résultats ne prouvent pas qu'il est possible de diminuer la concentration du NO_2 avec un additif, il reste probable que ce dernier peut contribuer à réduire la concentration de NO_2 en plus de diminuer considérablement la température d'inflammation de la suie.

Il faut aussi noter que l'efficacité apparente du catalyseur à diminuer la teneur en CO est supérieure à 50 %, ce qui témoigne du bon état des dispositifs catalytiques. Enfin, l'efficacité apparente du filtre (d'après les données sur l'exposition de l'opérateur du chargeur-transporteur) est supérieure à 90 %, une valeur qui concorde mieux avec les résultats obtenus lors des essais dynamométriques. Malheureusement, si l'on examine la concentration de poussières combustibles inhalables dans l'air de retour, les filtres n'auraient pas diminué mais augmenté la quantité de suie, ce qui est invraisemblable avec des filtres en parfait état. Ce résultat provient, semble-t-il, de l'effet de "saturation" causé par des concentrations énormes de matières particulaires en suspension dans l'air (tableau 3). Ces concen-

trations sont quatre fois supérieures aux quantités de poussières combustibles inhalables rejetées par le chargeur-transporteur et environ 18 fois supérieures à celles dans l'air de retour. Ces effets de grande envergure causés par les poussières de minerai ont diminué la sensibilité des valeurs relatives aux poussières combustibles inhalables calculées par différence et/ou ont empêché de calculer ces valeurs en raison d'un apport trop important de matières combustibles autres que la suie, qui étaient peut-être des résidus produits au cours de l'abattage à l'explosif. Cet effet de "saturation" a été confirmé par observation directe. Lorsque le chargeur-transporteur se retirait des déblais, il laissait tomber une grande quantité de minerai fraîchement fragmenté, ce qui envoyait suffisamment de poussière dans l'avancement aéré situé en amont du point d'échantillonnage de l'air de retour pour réduire la visibilité à zéro pendant une période pouvant atteindre 30 secondes.

Ce fait a également été confirmé, car on a observé que la station de l'opérateur du chargeur-transporteur était exposée à bien moins de poussières de minerais, comme l'indiquent les concentrations de matières particulaires totales dans le tableau.

L'utilisation de filtres, comparativement à l'utilisation de catalyseurs, a entraîné une diminution de la toxicité de l'environnement de 65-75 %, comme en témoignent les valeurs de l'IQA pour la station de l'opérateur. Cette diminution importante résulte de la disparition du NO_2 et de l'élimination presque totale de la suie. Il serait donc possible de diminuer le taux d'aération en utilisant à la fois un additif et un filtre.

D'après des observations directes, l'installation d'un filtre a grandement augmenté la visibilité et a diminué l'odeur dans les avancements où l'on utilisait un chargeur-transporteur. En aucun cas, on a observé le rejet de suie par les orifices d'échappement, ce qui a été confirmé par l'opérateur et par les expérimenteurs.

SYNTHÈSE DES ÉVALUATIONS ENVIRONNEMENTALES

Comme on l'explique de façon générale dans (12) et de façon détaillée dans (1), on peut considérer, pour les fins du calcul, l'IQA comme une fonction linéaire des concentrations de CO_2, tout comme les constituants toxiques individuels qui figurent dans l'expression mathématique de l'IQA. Par conséquent, il est possible de déterminer la concentration de CO_2 qui donnerait un environnement de qualité jusqu'à un IQA maximal de 3, pour chaque dispositif étudié. Comme on peut mesurer la concentration de CO_2 facilement et de façon fiable, celle-ci constitue un outil efficace pour contrôler l'environnement et identifier l'origine des problèmes - elle pourrait remplacer l'IQA et la concentration des constituants individuels. Par exemple, si l'on utilise les conditions prévalant dans la mine n° 2 (voir tableau 2), la concentration du CO_2 à proximité d'un chargeur-transporteur, pour un IQA = 3, serait de $(3,0/1,25) \times 0,085 = 0,204$ % dans le cas d'un filtre non assisté, au lieu de 0,085 % dans les conditions actuelles. Il serait donc possible de diminuer l'aération de 58 % en utilisant l'IQA comme critère. Dans ce cas, aucun autre constituant n'aurait atteint la concentration limite (TLV) et ainsi régi les exigences d'aération. Ces valeurs de la teneur en CO_2 sont données au tableau 4 pour chaque mine, pour chaque méthode de traitement et pour chaque station; lorsque cela était possible, on a donné la valeur mesurée et la valeur corrigée.

Le tableau 4 révèle que la concentration de CO_2 permettant de diminuer la pollution ne devrait généralement pas dépasser 0,09, 0,15 et 0,25 % respectivement lorsqu'on utilise des dispositifs catalytiques du type étudié, des filtres DPF non assistés et des filtres avec des additifs. Ces directives techniques s'appliquent à des cas où l'on utilise des chargeurs-transporteurs fortement chargés, mus par un moteur Deutz. Les chiffres reflètent les concentrations mesurées (moins la concentration de fond) aux quelles est exposé l'opérateur du chargeur-transporteur. Cependant, ces chiffres peuvent être quelque peu inférieurs aux valeurs réelles, notamment si on les compare aux valeurs corrigées obtenues avec les filtres et pour lesquelles il existe une certaine justification. Il est peu probable que la concentration des autres constituants soit supérieure à la concentration limite (TLV) en présence de telles teneurs en CO_2, particulièrement si la concentration de soufre dans le carburant est maintenue à une valeur égale ou inférieure à 0,2 % en masse.

Ces chiffres généralisés reflètent à leur tour une amélioration de l'environnement de [(0,15 - 0,09/0,09)] x 100 = 67 %, associée à l'utilisation de filtres DPF non assistés, par rapport à celle obtenue avec les épurateurs étudiés, ou une diminution proportionnelle de l'aération si l'IQA est maintenu à la valeur maximale de trois, en supposant qu'aucun constituant n'atteint sa concentration limite (TLV).

DISCUSSION DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION

On a émis plusieurs commentaires au sujet de la difficulté à prélever, au cours de ces études, des échantillons de poussières combustibles inhalables représentatifs de la concentration de suie. En voici un résumé:

1. Des fuites d'huile, de diverses origines, sur des surfaces chaudes, s'évaporent et contribuent ainsi directement à la concentration de poussières combustibles inhalables. De faibles taux de fuite, de l'ordre de 14 g d'huile par heure (0,5 oz/h), peuvent diminuer de moitié l'efficacité apparente des filtres DPF;

2. Des gouttelettes d'huile en suspension dans l'air, produites par le forage, peuvent contribuer beaucoup à la concentration mesurée de poussières combustibles inhalables et, donc, diminuer l'efficacité apparente des filtres DPF à éliminer la suie;

3. Ces deux aérosols peuvent être constitués, du moins en partie, de particules de granulométrie supérieure à la limite inhalable (environ 7 microns). Le facteur de 0,64, appliqué aux quantités de poussières combustibles totales dans la mine n° 2 pour obtenir la quantité de poussières combustibles inhalables, peut inclure les contributions de ces deux types d'aérosols. En général, on considère la suie émise par un moteur diesel comme étant inhalable à 100 %; l'utilisation d'un cyclone dans le train d'échantillonnage des poussières combustibles inhalables de devrait donc par modifier de façon appréciable la concentration de suie rejetée par les moteurs; et

4. La nature du minerai et les sulfates rejetés lors de l'abattage à l'explosif peuvent augmenter la quantité de poussières combustibles inhalables et donc diminuer l'efficacité apparente des filtres DPF.

Ainsi, pour obtenir des résultats représentatifs de la situation, l'évaluation de l'efficacité de filtration des gaz d'échappement dans une mine souterraine doit tenir compte de la contribution aux poussières combustibles inhalables des particules autres que la suie.

On s'est beaucoup intéressé à la répétabilité et à la fiabilité des échantillonneurs de Palmes de type à diffusion qui permettent de mesurer la concentration moyenne pondérée sur le temps des NOX/NO_2. On trouvera une confirmation partielle de ces points dans les résultats donnés au tableau 5, qui ont été obtenus à la station d'échantillonnage située sur un chargeur-transporteur, à la mine n° 4.

Même s'il y a un écart notable entre les valeurs "intégrées" et les valeurs de Palmes pour des mesures faites le même jour, les valeurs moyennes obtenues laissent supposer que la méthode d'échantillonnage convient pour évaluer à des fins d'ingénierie la qualité des environnements souterrains.

ÉVALUATION DE LA RÉGÉNÉRATION DES FILTRES DANS UN MILIEU SOUTERRAIN

L'utilisation de filtres en céramique, en fait de tout autre type de filtre, dépend de la méthode employée pour prévenir dans l'élément filtrant l'accumulation de suie au point que la contre-pression du moteur devienne trop importante eu égard à la garantie du moteur ou à la sécurité.

L'auto-régénération, c'est-à-dire la combustion de suie induite spontanément, est le résultat des effets inter-reliés de plusieurs paramètres, entre autres la quantité de carbone déposée sur les surfaces et dans les pores du filtre, la teneur en oxygène des gaz d'échappement qui traversent l'élément filtrant en céramique et, ce qui est peut être le facteur le plus important, la température des gaz d'échappement.

On a effectué en milieu souterrain deux études qui avaient pour but de déterminer la température des gaz d'échappement de chargeurs-transporteurs munis de filtres DPF non assistés, parallèlement aux évaluations de l'environnement aux mines n° 1 et n° 2, décrites précédemment.

ANALYSE DU TRACÉ DE TEMPÉRATURE À LA MINE N° 1

Durant les essais avec un chargeur-transporteur JS 500 mû par un moteur Deutz F8L714 doté d'un filtre, on a utilisé la machine de plusieurs façons y compris pour charger, déverser et stocker et pour divers travaux généraux décrits en détail dans (13). La variation de la température pour le groupe de cylindres plus chauds situé du côté droit (CD) (en regardant de l'arrière de la machine vers le godet), pour les trois cycles désignés A, B, et C, est montrée aux figures 1 et 2. L'élément du thermocouple utilisé à cette fin avait un diamètre de 1/8 po et était complètement revêtu d'acier inoxydable.

L'analyse de ces tracés a permis d'obtenir des données fondamentales sur l'auto-régénération du filtre; les résultats sont présentés au tableau 7.

On a clairement montré, par mesure sur place de la contre-pression produite par le filtre sur une très longue période, que ces cycles autorégénéraient le filtre du côté droit, qui est le plus chaud, et donnaient lieu à une lente accumulation de suie sur le filtre situé du côté gauche. On peut régénérer rapidement le filtre présentant une accumulation de suie, en changeant les filtres de côté; le filtre qui s'auto-régénérait précédemment commence alors à accumuler lentement de la suie. Ces résultats ont confirmé que la température d'auto-régénération de 430°C (805°F), déterminée par essais dynamométriques, et les accroissements de température suffisamment élevés, comme ceux donnés au tableau 7, permettent d'auto-régénérer les filtres DPF en céramique.

ANALYSE DU TRACÉ DE TEMPÉRATURE À LA MINE N° 2

Le même type d'expérience a également été réalisé au cours des études sur l'environnement à la mine n° 2, dans le but de déterminer les caractéristiques thermométriques des gaz d'échappement d'une benne Wagner ST8A mûe par un moteur Deutz F1OL413FW. Les figures 3 et 4 montrent en détail les cycles 25 et 9 des types D et E respectivement. La figure 5 montre la production de températures élevées lors du fonctionnement sur une rampe de 20 % d'un chargeur-transporteur dont le godet était chargé puis vide. L'élément thermocouple utilisé durant les essais à la mine n° 3 était revêtu d'acier inoxydable, à l'exception de l'extrémité dont le diamètre de la pointe sphérique de la jonction chaude était d'environ 1,6 mm (1/16 po). Cet élément était situé à moins de 25 cm (10 po) de l'orifice du collecteur d'échappement et à égale distance de l'orifice d'admission du filtre monté verticalement.

Ces exemples particuliers de cycle ont donné des résultats qui se rapprochent beaucoup de leurs moyennes respectives et s'appliquent au côté gauche du moteur (côté de l'opérateur). Les résultats de l'analyse de ces cycles sont donnés au tableau 8.

ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ DANS UN MILIEU SOUTERRAIN

On a effectué jusqu'à présent des évaluations à plus long terme de la durabilité des filtres, à deux mines (mines n° 1 et n° 3), avec des filtres DPF non assistés, avec des filtres DPF utilisés conjointement avec un catalyseur et avec des filtres DPF utilisés conjointement avec un additif.

À la mine n° 1, les essais comportaient deux séries de filtres non assistés, solidement fixés à l'horizontale de chaque côté du moteur. La première série a fonctionné pendant 396 h sur un chargeur-transporteur JS 500 mû par un moteur Deutz F8L714. On a ensuite enlevé ces filtres qui n'ont pas été réutilisés par la suite, même s'ils étaient en bon état. On a installé la deuxième série sur la même machine muni d'un moteur identique. Elle fonctionnait depuis plus de 1830 h au moment où cet article a été rédigé. Les contrôles ont été fréquents au début, puis ont été espacés quand on a constaté que l'accroissement de pression (quand il avait lieu) se produisait lentement et peu fréquemment dans les conditions d'utilisation.

Après 850 h de fonctionnement on a noté, avec la deuxième série de filtres, une augmentation de la contre-pression, comme on l'a signalé ci-dessus en rapport avec les résultats des études sur la température à la mine n° 1. On a alors procédé à des vérifications par essais dynamométriques et on a régénéré les filtres pendant les essais dynamométriques ou dans un four. Les quatre filtres étaient en bon état du point de vue de l'efficacité de filtration et de la chute de pression. Évidemment, l'auto-régénération constante aux températures élevées du chargeur-transporteur n'a pas provoqué jusqu'à présent de surcontrainte thermique de l'élément en céramique et les importantes forces d'accélération causées par la machine n'ont pas détérioré l'élément ni le joint d'étanchéité reposant contre le boîtier métallique des filtres montés horizontalement.

Les études effectuées à la mine n° 3 comportaient des essais sur des filtres DPF assistés par un catalyseur et par un additif, montés verticalement sur une bonne Wagner ST5 mue par un moteur Deutz F8L714. Ces études sont décrites en détail dans (8). Les filtres assistés par un catalyseur ont été utilisés pendant 251 h au total durant le fonctionnement cyclique du chargeur-transporteur, à une température moyenne d'environ 439°C (822°F); la température atteignait des maximums de 490°C (914°F), et la contre-pression à régime élevé a diminué légèrement, du début jusqu'à la fin, de 3,4 à 2,5 kPa (14 à 10 po de H_2O). Il est clair que la régénération était constante et qu'il n'y avait aucune détérioration manifeste des filtres.

Ces essais ont été répétés avec, cette fois-ci de nouveaux filtres DPF non traités et un additif (40 mg de manganèse par litre de carburant). Cette série de filtres a été utilisée pendant 194 h au total. Il y a eu accroissement de la contre-pression en raison du mauvais fonctionnement d'un injecteur, dans l'un des deux filtres, mais le filtre a été régénéré par l'utilisation limitée de la machine sur une rampe; ainsi, les pièges étaient propres et en bon état à la fin de la période d'essai. De même, le fonctionnement à la température moyenne de 439°C (822°F) était, semble-t-il, suffisant pour qu'il y ait auto-régénération lorsqu'on utilisait l'additif renfermant des quantités modérées de manganèse seulement.

Il y a lieu de remarquer que ces pièges fonctionnaient de façon passive et nécessitaient peut d'attention au cours des essais. Ainsi, on ne prévoit qu'un minimum de surveillance si l'on utilise l'option de filtration qui convient à la température de fonctionnement. Il faut également remarquer que la chute de pression dans le filtre assisté par un catalyseur était inférieure à la contre-pression totale produite par l'épurateur catalytique précédemment installé et par le silencieux, soit 4 kPa par rapport à 7-8 kPa respectivement (14), dans le cas du fonctionnement à régime maximal sur une rampe d'un moteur Deutz F8L714 monté sur une machine Wagner ST5 Scooptram.

Enfin, les essais effectués à la mine n° 3 ont révélé qu'il fallait améliorer le système de contrôle de la contre-pression pour surmonter les problèmes mécaniques et éviter l'obturation des manomètres; ce système, qui est monté sur la machine, sert à signaler toute surpression.

CONCLUSIONS

1. Les essais sur place de filtres DPF en céramique, non assistés ou assistés par un catalyseur ou un additif, ont donné les résultats suivants du point de vue de la diminution de la température d'inflammation de la suie:

   (a) maintien en bon état pendant des périodes de 1830, 251 et 194 h respectivement, et
   (b) auto-régénération des trois types de filtres pour les cycles du chargeur-transporteur et les périodes que nous avons décrits et, ainsi, maintien en général de la contre-pression à des valeurs acceptables du point de vue de la garantie du moteur et de la sécurité.

2. L'évaluation détaillée dans un milieu souterrain de filtres en céramique non assistés et assistés par un additif a donné les résultats suivants:

   (a) il y a diminution importante de la toxicité de l'environnement souterrain; cette diminution, qui a été mesurée, est, pour les filtres non assistés (diminution plus importante avec les filtres assistés par un additif) de l'ordre de 45 % de celle obtenue avec les épurateurs catalytiques qui sont largement utilisés;
   (b) il faut interpréter avec prudence la quantité de suie rejetée par les moteurs diesel et établie à partir des résultats d'échantillonnage des poussières combustibles inhalables. L'absence de gouttelettes en suspension dans l'air produites par le forage d'huile provenant de fuites et évaporée sur des surfaces chaudes et d'un composé combustible dans la poussière de minerai en suspension dans l'air laisse supposer que l'amélioration de l'environnement est supérieure à celle observée en réalité où un ou tous les constituants mentionnés ci-dessus peuvent diminuer notablement l'efficacité mesurée de la filtration;
   (c) à titre de ligne directrice approximative pour des pièces d'équipement fonctionnant normalement dans des circonstances semblables à celles étudiées, des concentrations maximales de CO_2 de 0,09, 0,15 et 0,25 % (mesurées à la station de l'opérateur dans le cas d'épurateurs catalytiques, de filtres DPF non assistés et de filtres assistés par un additif, respectivement) donnent un indice de qualité de l'air égal à la valeur maximale de 3 (en supposant des concentrations de soufre combustible de 0,2 % ou moins dans un air pur);
   (d) les concentrations habituelles des contaminants présents sous forme de gaz et de matières particulaires et les indices de qualité de l'air correspondant au fonctionnement d'un chargeur-transporteur dans l'environnement des mines de métaux canadiennes étudiées sont en général bien inférieurs aux valeurs équivalant à un $IQA_{max} = 3$ et aux concentrations-seuils (TLV) stipulées par l'ACGIH pour chaque constituant, ou à d'autres concentrations seuils appropriées, lorsqu'on donne les débits d'aération. Il serait donc possible de réduire l'aération de façon appréciable en utilisant des filtres; et
   (e) la méthode de Palmes utilisée pour prélever des échantillons de NO_2/NO_x est fiable si on la compare à l'intégration de tracés en temps réel produits par des appareils de laboratoire; elle est tout aussi fiable si l'on tient compte des écarts moyens des résultats pour un même échantillon de ± 15 % par rapport à la moyenne pour le NO_2 et de ± 5 % par rapport à celle pour le NO.

3. D'après les mesures effectuées directement sur place des caractéristiques relatives à la température des gaz d'échappement et de la contre-pression dans le cas de chargeurs-transporteurs mus par un moteur Deutz IDI doté de filtres DPF en céramique, l'auto-régénération se produirait, avec des filtres non assistés, à des températures moyennes supérieures à 430°C (805 °F). Des essais dynamométriques laissent supposer que ces températures maximales sont moins élevées: 365°C (690°F) et 349°C (660°F) lorsqu'on utilise un additif et un catalyseur respectivement; on élargit ainsi la plage d'utilisation des filtres en plus d'accroître leur durée et de les rendre plus sécuritaires en ce qui concerne la régénération non contrôlée.

REMERCIEMENTS

De nombreuses personnes ont contribué aux études décrites dans cet article. Il n'est pas possible de les remercier toutes, mais nous tenons à exprimer notre gratitude à:

L. Weitzel et M. Bapty, COMINCO Ltd.,
C. Bourre et W.T. Elliott, INCO Ltd.,
D. Bordin et J. Miller, Kidd Creek Mine.
R. Blanchard, Mine Brunswick
D. McKinnon et K. Wheeland, Noranda Research,
W. Drummond, Fondation de recherches de l'Ontario
J. Johnson, Michigan Technological University
R. Fraser, Engine Control Systems Limited,
M. Roach et J. Gibson, Corning Glass Works
R. Tupa, Lubrizol Corporation,
J.P. Mogan, CANMET, et
G.H. Schnakenberg, Jr., U.S. Bureau of Mines.

REFERENCES

1. Johnson, J.H. and Carlson, D.H. "The application of advanced measurement and control technology to diesel-powered vehicles in an underground salt mine". Michigan Technological University. Presented to the Mechanical/ Electrical Session of the 86th Annual General Meeting of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Ottawa, Ontario, Canada, April 1984.

2. French, I.W. and Mildon, M.A. "Health implications of exposure of underground workers to diesel exhaust emissions - an update." Department of Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Ottawa. Contract No. OSG82-00121, 607 pp, April 1984.

3. Mogan, J.P., Westaway, K.C., Horton, A.J. and Dainty, E.D. "Polynuclear aromatic hydrocarbons and mutagens in the air of underground dieselized mines." Presented to the Xth World Congress on the Prevention of Occupational Accidents and Diseases, Ottawa, Hull, May 9, 1983.

4. Mogan, J.P., Horton, A.J., Vergeer, H.C., Westaway, K.C., and Stawsky, A. "A comparison of laboratory and underground mutagen levels for treated and untreated diesel exhaust". Presented to the CIM/AGM Session on Heavy Duty Emission Control. Montreal, May 14, 1986. Published by the Canadian Institute of Mining and Metallurgy - see paper No. 5 in this volume.

5. Lawson, A., Vergeer, H.C., Roach, M.H., and Stawsky, A. "Evaluation of ceramic and wire mesh filters for reducing diesel particulate exhaust emissions". Presented to the CIM/AGM Session on Heavy Duty Emission Control, Montreal, May 14, 1986. Published by the Canadian Institute of Mining and Metallurgy - see paper No. 3 in this volume.

6. Johnson, J.H. and Carlson, D.H. "A study of diesel pollutants in an underground production metal mine using an advanced monitoring and data analysis methodology." Contract Report by Michigan Technological University for the Department of Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, No. OSQ82-00210, March 1984.

7. Carlson, D.H., Bucheger, D., Patton, M., Johnson, J.H. and Schnakenberg, G.H. Jr. "The evaluation of a ceramic diesel particulate filter in an underground mine laboratory." Presented to the CIM/AGM Session on Heavy Duty Emission Control, Montreal, May 14, 1986. Published by the Canadian Institute of Mining and Metallurgy - see paper No. 6 in this volume.

8. Lawson, A., Vergeer, H. and Drummond, W. "Control of diesel exhaust emissions in underground coal mines. Phase III. Progress Report No. 3974/15 ES/CAFU/85-26." Contract Report by the Ontario Research Foundation for the Engelhard Corporation. June 10, 1985.

ANNEXE I - EXEMPLE DE CALCULS SUR LA PERFORMANCE DANS L'ENVIRONNEMENT MINIER

DÉTERMINATION DES QUANTITÉS DE SO_2, DE SULFATE ET DE POUSSIÈRES COMBUSTIBLES INHALABLES

On a déterminé la quantité de poussières combustibles inhalables à la mine n° 1 par analyse (H+C) au moyen d'un analyseur élémentaire Perkin-Elmer modèle 240. Ce type d'analyse incluerait les aérosols en suspension dans l'air produits par l'évaporation sur des surfaces chaudes de l'huile de graissage provenant de fuites, ainsi que les gouttelettes d'huile produites par les perforatrices. Des observations directes avaient révélé la présence de ces deux aérosols au cours de cette étude. Ce type d'analyse ne devrait pas inclure le sulfate produit par la combustion du soufre contenu dans le carburant, ce qui donne du SO_2 puis du SO_3. Cet effet de conversion est, estime-t-on, de l'ordre de 2,5 % et de 10 % pour les filtres DPF et les épurateurs catalytiques, respectivement. La concentration de sulfate n'a pas été mesurée, mais on peut la calculer d'après les concentrations de CO_2:

$$\text{Concentration brute de } SO_2 \text{ (en ppm)} = \frac{\% \text{ S dans le carburant}}{\% \text{ C dans le carburant}} \times \frac{\text{MM du C}}{\text{MM du S}} \times \frac{10^6}{100} \times \%CO_2$$

$$= \frac{0,2}{85,9} \times \frac{12}{32} \times 10^4 \times 0,070 = 0,61 \text{ ppm}$$

Un taux de 10 % pour la conversion du SO_2 en SO_3 avec un catalyseur donne:

concentration nette de SO_2 (ppm) = 0,9 x 0,61 = 0,55 ppm (voir tableau 1)

concentration de H_2SO_4 (ppm) = 0,61 - 0,55 = 0,06 ppm

concentration de H_2SO_4 (mg/m^3) = 4,06 x 0,06 = 0,25 mg/m^3

On a calculé la contribution due aux gouttelettes produites pendant le forage qui, on le suppose, inclut l'évaporation de l'huile consécutive à une fuite, à partir de la différence importante des résultats entre le premier jour des essais avec les filtres et les jours suivants pendant lesquels il n'y avait aucun forage.

Contribution des gouttelettes d'huile produites pendant le forage = quantité de poussières combustibles mesurée le premier jour des essais avec les filtres DPF (yd compris les gouttelettes d'huile produites pendant le forage) moins la moyenne au cours des trois jours suivants (sans gouttelettes d'huile).

= 0,58 - (0,33 + 0,26 + 0,26)/3 = 0,30 mg/m^3, soit

= 0,30 X (1,07/0,72) = 0,45 mg/m^3
valeur établie au prorata pour les résultats des essais avec catalyseur.

Il y a lieu de remarquer que la valeur de 0,45 trouvée à la mine n° 1 pour les gouttelettes d'huile et l'huile s'évaporant à la suite d'une fuite correspond approximativement à la différence entre la quantité mesurée de matières combustibles totales et la quantité de poussières combustibles inhalables données au tableau 2; cette valeur a été établie à partir de la diminution de la quantité de matière recueillie avec un cyclone classique à l'arrivée de la cassette d'échantillonnage au cours des essais effectués à la mine n° 2, soit une concentration de 1,06 mg/m^3 réduite à 0,66 dans l'air de retour à l'aide du cyclone (différence de 0,40 mg/m^3); on a diminué la valeur de 1,07 mg/m^3 trouvée à la mine n° 1 dans l'air environnant du chargeur-transporteur en effectuant une correction de 0,45 mg/m^3 (voir ci-dessous).

Il est théoriquement possible que ces deux quantités semblables, obtenues de façon différente, soient matériellement semblables, mais on ne dispose pas encore de données pour confirmer ce fait.

On a corrigé la quantité de poussières combustibles inhalables recueillies au chargeur-transporteur moins la quantité de fond, qui est destinée à être utilisée pour calculer la valeur corrigée de l'indice de qualité de l'air avec le catalyseur à la mine n° 4, en effectuant les ajustements ci-dessus, afin de comparer les résultats aux trois mines et avec les deux traitements à chaque mine:

concentration mesurée de (C+H) moins concentration de fond (mg/m^3) (1,07 - 0,06)		1.01*	
Moins: contribution calculée des gouttelettes d'huile et fraction estimée due aux fuites (voir ci-dessus)	0.33 0.12	0.45	0.45
Fraction de la suie rejetée par le diesel contribuant aux poussières combustibles inhalables		0.56	
Plus conc. calculée de sulfate (voir ci-dessus)		0.25	
Quantité de poussières combustibles inhalables pour calculer la valeur corrigée de l'IQA		0.81*	0.81
Matières non combustibles (minerais) dans l'échantillon			0.91
Matières particulaires totales (valeur mesurée) moins conc. de fond			* 2.17 mg/m^3

*données tirées du tableau 1.

CALCUL DE L'IQA ET DE L'AMÉLIORATION DE L'ENVIRONNEMENT

Ces calculs comportent les valeurs mesurées de la concentration au chargeur-transporteur moins la concentration de fond à la mine n° 1 (voir tableau 1). On a ajouté la concentration calculée de H_2SO_4 à la concentration mesurée de poussières combustibles inhalables (par exemple: 1,01 + 0,25 = 1,26 mg/m^3) afin de pouvoir comparer avec les résultats d'autres mines. Il

y a lieu de remarquer que la TLV de l'ACGIH pour le SO_2 est actuellement de 2 ppm. On a conservé une valeur de 3 ppm ci-dessous pour maintenir l'équilibre entre les différents constituants, comme les auteurs le projetaient initialement, et pour maintenir un IQA maximal de 3. Cette valeur favorise également la comparaison avec les travaux précédents. Ainsi,

$$IQA = \frac{CO}{50} + \frac{NO}{25} + \frac{RCD^{**}}{2} + 1{,}5\left[\frac{SO_2}{3} + \frac{RCD^{**}}{2}\right] + 1{,}2\left[\frac{NO_2}{3} \quad \frac{RCD^{**}}{2}\right]$$

**RCD = poussières combustibles inhalables

$$\text{IQA (valeur mesurée, catalyseur)} = \frac{1{,}00}{50} + \frac{5{,}25}{25} + \frac{1{,}26}{2} + 1{,}5\left[\frac{0{,}55}{3} + \frac{1{,}26}{2}\right] + 1{,}2\left[\frac{0{,}46}{3} + \frac{1{,}26}{2}\right]$$

$$= 3{,}02$$

$$\text{IQA (valeur mesurée, filtre)} = \frac{1{,}44}{50} + \frac{4{,}18}{25} + \frac{0{,}65}{2} + 1{,}5\left[\frac{0{,}53}{3} + \frac{0{,}65}{2}\right] + 1{,}2\left[\frac{0{,}65}{3} + \frac{0{,}65}{2}\right]$$

$$= 1{,}96$$

$$\text{Amélioration mesurée de l'environnement} = \frac{3{,}02 - 1{,}96}{3{,}02} \times 100 = 35{,}1\ \%$$

On a corrigé les calculs ci-dessus pour tenir compte de la contribution de l'huile qui s'évapore sur des surfaces chaudes à la suite de fuites, des effets sur les poussières combustibles inhalables et des variations des gouttelettes d'huile provenant du forage, constituants produits par les différents cycles de chargement du moteur qui se traduisent par des variations de la concentration de CO_2 avec les deux méthodes de traitement:

$$\text{IQA (valeur corrigée, catalyseur)} = \frac{1{,}00}{50} + \frac{5{,}25}{25} + \frac{0{,}81}{2} + 1{,}5\left[\frac{0{,}55}{3} + \frac{0{,}81}{2}\right] + 1{,}2\left[\frac{0{,}46}{3} + \frac{0{,}81}{2}\right] = 2{,}19$$

$$\text{IQA (valeur corrigée, filtre)} = \frac{0{,}070}{0{,}062}\left(\frac{1{,}44}{50} + \frac{4{,}18}{25} + \frac{0{,}20}{2} + 1{,}5\left[\frac{0{,}53}{3} + \frac{0{,}20}{2}\right] + 1{,}2\left[\frac{0{,}65}{3} + \frac{0{,}20}{2}\right]\right)$$

$$= 1{,}13 \times 1{,}1 = 1{,}24$$

$$\text{Amélioration corrigée de l'environnement} = \frac{2{,}19 - 1{,}24}{2{,}19} \times 100 = 43{,}4\ \%$$

CALCUL DE L'EFFICACITÉ DE DIMINUTION DE LA TENEUR EN CO

$$\text{Efficacité du catalyseur à diminuer la teneur en CO (valeur mesurée)} = \frac{CO(\text{filtre}) - CO(\text{catalyseur})}{CO(\text{filtre})} \times 100$$

$$= \frac{1,44 - 1,00}{1,44} \times 100 = 30,6\ \%$$

Efficacité du catalyseur à diminuer la teneur en CO (valeur corrigée)

$$= \frac{1,44/0,062 - 1,00/0,070}{1,44/0,062} \times 100$$

$$= 38,4\ \%$$

EFFICACITÉ DU FILTRE À DIMINUER LA QUANTITÉ DE SUIE

Efficacité du filtre à diminuer la quantité de suie (valeur mesurée)

$$= \frac{*RCD(catalyseur) - *RCD(filtre)}{*RCDcatalyseur} \times 100$$

$$= \frac{1,26 - 0,65}{1,26} \times 100 = 48,4\ \%$$

Efficacité du filtre à diminuer la quantité de suie

$$= \frac{0,81/0,70 - 0,23/0,062}{0,81/0,07} \times 100$$

$$= 72,1\ \%$$

* RCD = poussières combustibles inhalables

Fig. 1 - Tracé de la température du côté droit (chaud) dans le cas du cycle A et de l'utilisation du véhicule à diverses fins - mine n° 1

1. Utilisation du véhicule à diverses fins
2. Élimination des déblais résiduels
3. 3 cycles
4. Transport de l'établi à la station de réparation
5. 4 cycles
6. 7 cycles
7. Utilisation du véhicule à diverses fins
8. Cycle
9. Déblayage
   Cycle n°.
10. Utilisation préliminaire
11. Temp.

Fig. 2 - Tracés de la température du côté droit (chaud) dans le cas des cycles B et C et de l'utilisation du véhicule à diverses fins - mine n°1

1. Arrêt
2. 6 cycles
3. 5 cycles
4. Utilisation du véhicule à diverses fins
5. 6 cycles
6. 3 cycles
7. Utilisation du véhicule à diverses fins
8. 9 cycles
9. Utilisation préliminaire
10. Mise en marche
11. Temp.

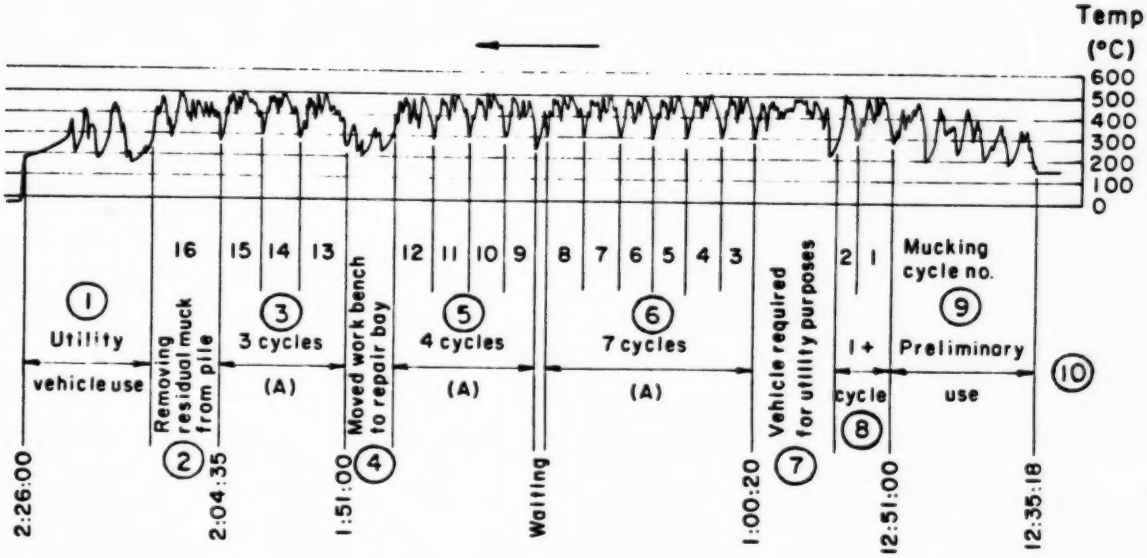


Fig. 1 - RHS (hot) temperature traces for cycle A and utility use - Mine # 1

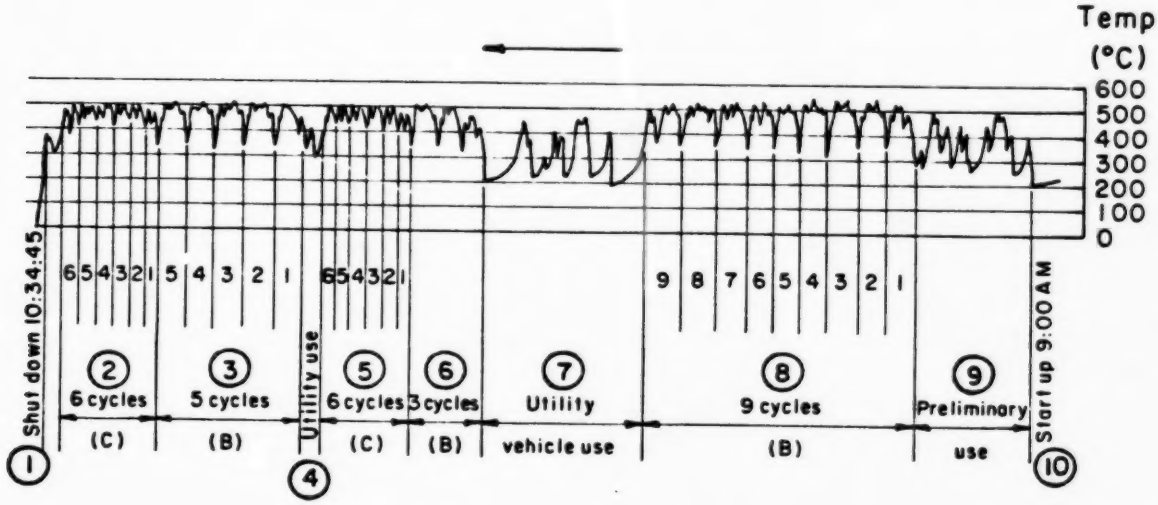
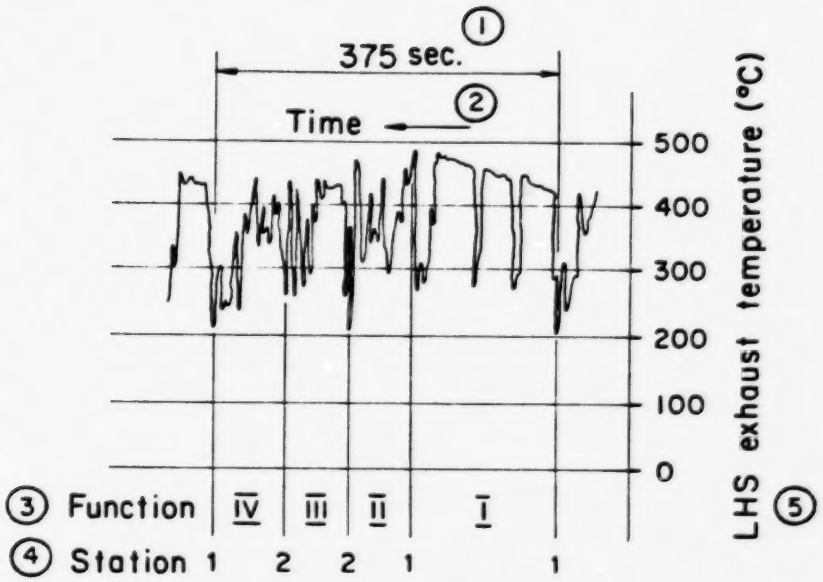


Fig. 2 - RHS (hot) temperature traces for cycles B and C and Utility use - Mine #1

Fig. 3 - Analyse du tracé de la température des gaz d'échappement au cours du cycle D
- mine n° 2

1. 375 s
2. Temps
3. Fonction
4. Station
5. Température des gaz d'échappement du côté gauche du chargeur-transporteur (°C)
6. Remarques: véhicule doté de filtres en céramique, ci-dessus: cycle n° 25 type D
7. Fonction
8. Station à station
9. Durée
10. Description
11. Déblayage
12. Transport souterrain à l'horizontale, véhicule chargé
13. Rejet et préparation des déblais
14. Transport souterrain à l'horizontale, véhicule non chargé



⑥ Notes: ceramic filters installed, above is cycle # 25 of type D

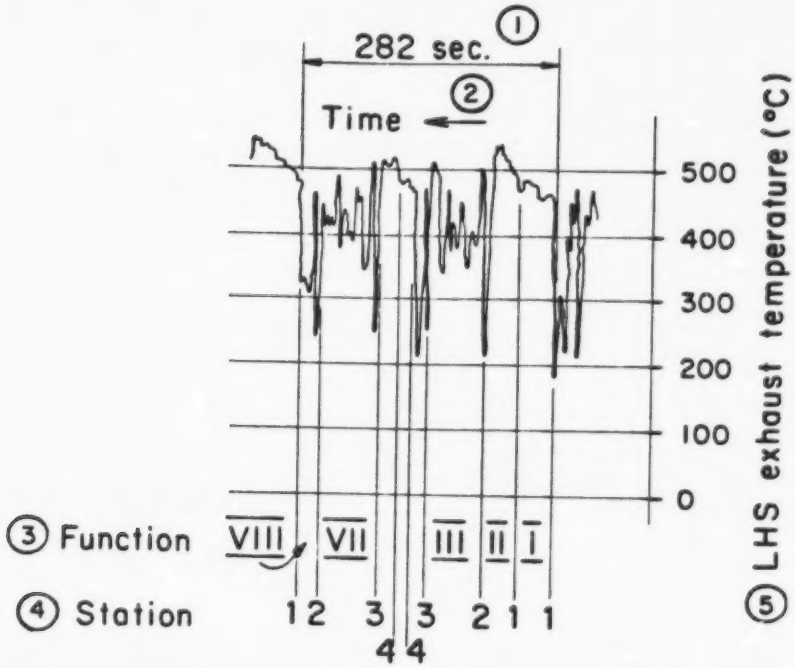
⑦ Function	⑧ Station to station	⑨ Time	⑩ Description
I	1 - 1	160	mucking ⑪
II	1 - 2	69	tramming horizontally loaded ⑫
III	2 - 2	62	dumping and dressing muck ⑬
IV	2 - 1	84	tramming horizontally unloaded ⑭
		375 sec.	

Fig. 3 - Cycle D exhaust temperature trace analysis - Mine #2

Fig. 4 - Analyse du tracé de la température des gaz d'échappement au cours cycle E

- mine n° 2

1. 282 s
2. Temps
3. Fonction
4. Station
5. Température des gaz d'échappement du côté gauche du chargeur-transporteur (°C)
6. Remarques: véhicule doté de filtres en céramique,
   ci-dessus: cycle n° 9 type E
7. Fonction
8. Station à station
9. Durée
10. Description
11. Déblayage
12. Montée sur une pente de 18 %, véhicule chargé
13. Transport à l'horizontale, véhicule chargé
14. Descente sur une pente de 18 %, véhicule chargé
15. Rejet
16. Montée du véhicule sur une pente de 18 %, véhicule non chargé
17. Transport à l'horizontale, véhicule non chargé
18. Descente sur une pente de 18 %, véhicule non chargé
19. 282 s



⑥ Notes: ceramic filters installed, above is cycle #9 of type E

⑦ Function	⑧ Station to station	⑨ Time	⑩ Description
I	1 - 1	52	⑪ mucking
II	1 - 2	23	up 18% grade loaded ⑫
III	2 - 3	65	tramming horizontally loaded ⑬
IV	3 - 4	16	down 18% grade loaded ⑭
V	4 - 4	16	dumping ⑮
VI	4 - 3	18	up 18% grade empty ⑯
VII	3 - 2	68	tramming horizontally empty ⑰
VIII	2 - 1	24	down 18% grade empty ⑱
		⑲ 282 sec.	

Fig. 4 - Cycle E exhaust temperature analysis - Mine # 2

Fig. 5 - Températures de regénération des filtres pendant le fonctionnement sur une rampe - mine n° 2

1. 9,5 min
2. Temps
3. Véhicule non chargé
4. arrêt
5. transport à l'horizontale, véhicule non chargé
6. descente d'une rampe de 20 %, véhicule non chargé
7. montée d'une rampe de 20 %, véhicule non chargé
8. transport jusqu'à la rampe, véhicule non chargé
9. température des gaz d'échappement du côté gauche du chargeur-transporteur (°C)
10. 11,8 min
11. Temps
12. véhicule chargé
13. arrêt
14. transport, véhicule non chargé
15. rejet
16. transport à l'horizontale, véhicule chargé
17. descente sur une rampe de 20 %
18. véhicule chargé
19. montée sur une rampe de 20 %
20. véhicule chargé
21. transport à l'horizontale jusqu'à la rampe
22. véhicule chargé
23. température des gaz d'échappement du côté gauche du chargeur-transporteur (°C)

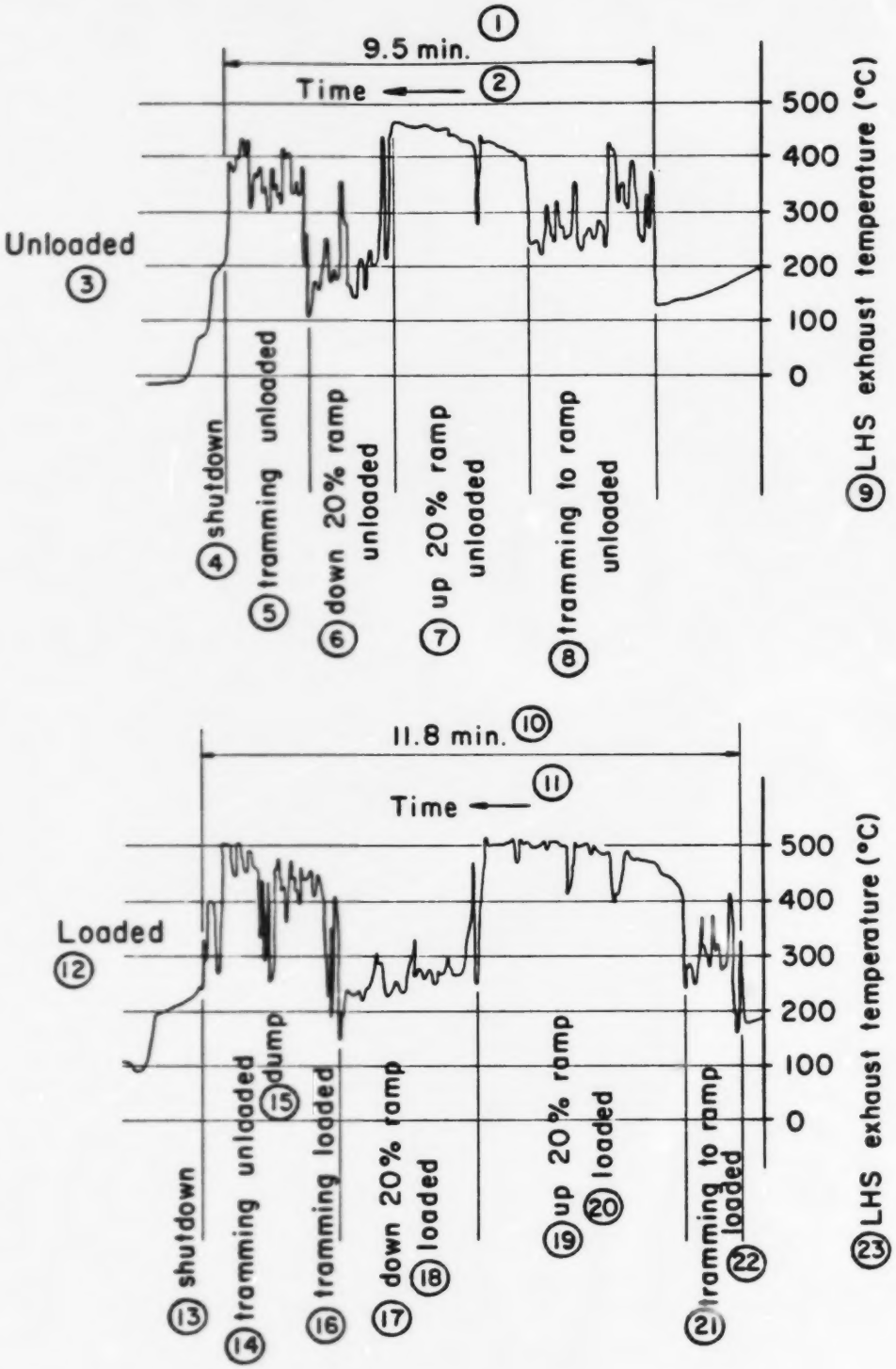


Fig. 5 - Filter regeneration temperatures achieved by ramp operation - Mine #2

Tableau 1 - Résultats de l'évaluation de l'environnement
à la mine souterraine n° 1

Moteur : F8L714 Deutz; machine : JARVIS CLARK JA500

Méthode de traitement des gaz d'échappement	Constituant	Station				
		Concentration de fond	Conc. en présence d'un chargeur trans porteur	Conc. en présence d'un chargeur trans porteur moins concentration de fond	Concentration dans l'air de retour	Concentration dans l'air de retour moins concentration de fond
Épurateur catalytique	CO_2 (%), valeur mesurée	0,084	0,154	0,070	0,101	0,017*
	CO (ppm), valeur mesurée	1,92	2,92	1,00	2,57	0,65
	NO (ppm), valeur mesurée	0,38	5,63	5,25	2,48	2,10
	NO_2 (ppm), valeur mesurée	0,47	0,93	0,46	0,50	0,03**
	Matières particulaires totales (mg/m^3), valeur mesurée	0,05	2,22	2,17	1,26	1,21
	Poussières combustibles inhalables (mg/m^3), valeur mesurée	0,06	1,07	1,01	0,72	0,66
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) + H_2SO_4			1,26		0,79
	Poussières combustibles inhalables (valeur corrigée) (mg/m^3)			0,81		0,49
	SO_2 (valeur calculée) (ppm)			0,55		0,30
	IQA (valeur mesurée) (-)			2,56		1,07
	IQA (valeur mesurée) + H_2SO_4			3,02		1,70
	IQA (valeur corrigée) (-)			2,19		1,35
	Ventilation (m^3/s)				16,1	
	(pi3/min)				34000	
Filtre DPF, en céramique, non-assisté	CO_2 (valeur mesurée) (%)	0,064	0,126	0,062	0,102	0,038
	CO (valeur mesurée) (ppm)	1,64	3,08	1,44	2,59	0,95
	NO (valeur mesurée) (ppm)	0,67	4,85	4,18	3,22	2,55
	NO_2 (valeur mesurée) (ppm)	0,52	1,17	0,65	0,88	0,36
	Matières particulaires totales (valeur mesurée) (mg/m^3)	0,16	1,83	1,67	1,08	0,92
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) (mg/m^3)	0,05	0,64	0,59	0,36	0,31
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) + H_2SO_4			0,65		*0,35
	Poussières combustibles inhalables (valeur corrigée) (mg/m^3)			0,20		0,21
	SO_2 (valeur calculée) (ppm)			0,53		0,32
	IQA (valeur mesurée) (-)			1,82		1,00
	IQA (valeur mesurée) + H_2SO_4			1,96		1,10
	IQA (valeur corrigée) (-)			1,24		0,82
	Aération (m^3/s)				17,1	
	(pi3/min)				36250	
Évaluations (se reporter aux calculs de l'Annexe I) :						
amélioration de l'environnement, y compris la conc. du SO_4, valeur mesurée				35,1		35,2
amélioration de l'environnement, valeur corrigée				43,4		39,3
efficacité du catalyseur à réduire la teneur en CO, valeur mesurée				30,6		31,6
efficacité du catalyseur à réduire la teneur en CO, valeur mesurée				38,4		31,6
efficacité du filtre DPF à éliminer la suie, valeur mesurée				48,4		55,7
efficacité du filtre DPF à éliminer la suie, valeur corrigée				72,1		42,4

*Trop faible, manifestement erronée; on a utilisé pour le filtre une valeur de 0,038.
**Trop faible, manifestement erronée; on a utilisé la valeur établie au prorata pour le filtre.

Tableau 2 - Résultats de l'évaluation de l'environnement à la mine souterraine n° 2

Moteur : F10L413FW Deutz; machine : JARVIS CLARK JS500

Méthode de traitement des gaz d'échappement	Constituant	Station				
		Concentration de fond	Conc. en présence d'un chargeur-transporteur	Conc. en présence d'un chargeur-transporteur moins concentration de fond	Concentration dans l'air de retour	Concentration dans l'air de retour moins concentration de fond
Épurateur catalytique	CO_2 (valeur mesurée) (%)	0,102	0,174	0,072	0,134	0,092
	CO (valeur mesurée) (ppm)	2,17	3,80	1,63	3,97	1,80
	NO (valeur mesurée) (ppm)	0,90	6,01	5,11	6,48	5,58
	NO_2 (valeur mesurée) (ppm)	0,16	0,54	0,38	0,67	0,51
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) (mg/m^3)	0,27	0,61	0,34	1,06	0,79
	Poussières combustibles inhalables (valeur corrigée) (mg/m^3)	0,17	0,39	0,22	0,66	0,49
	Poussières combustibles inhalables (valeur ajustée) (mg/m^3)			0,22		0,49
	SO_2 (valeur calculée) (ppm)			0,57		0,72
	IQA (valeur mesurée) (-)			1,30		2,29
	IQA (valeur corrigée) (-)			1,07		1,74
	Aération (m^3/s)				11,7	
	(pi^3/min)				24800	
Filtre DPF, en céramique, non-assisté	CO_2 (valeur mesurée) (%)	0,079	0,164	0,085	0,187	0,108
	CO (valeur mesurée) (ppm)	1,00	3,07	2,07	3,57	2,57
	NO (valeur mesurée) (ppm)	1,08	6,91	5,83	6,65	5,57
	NO_2 (valeur mesurée) (ppm)	0,19	0,52	0,33	0,52	0,33
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) (mg/m^3)	0,24	0,50	0,26	0,45	0,21
	Poussières combustibles inhalables (valeur corrigée) (mg/m^3)	0,15	0,32	0,17	0,29	0,14
	Poussières combustibles inhalables (valeur ajustée) (mg/m^3)			0,14		0,12
	SO_2 (valeur calculée) (ppm)			0,72		0,92
	IQA (valeur mesurée) (-)			1,25		1,25
	IQA (valeur corrigée) (-)			0,91		0,94
	Aération (m^3/s)				16,8	
	(pi^3/min)				35500	
Évaluations (se reporter aux calculs de l'Annexe I) :						
amélioration de l'environnement, valeur mesurée				3,8		45,4
amélioration de l'environnement, valeur corrigée				15,0		46,0
efficacité du catalyseur à réduire la teneur en CO, valeur mesurée				21,3		30,0
efficacité du catalyseur à réduire la teneur en CO, valeur corrigée				7,4		17,6
efficacité du filtre DPF à éliminer la suie, valeur mesurée				23,5		73,4
efficacité du filtre DPF à éliminer la suie, valeur corrigée				36,4		75,5

Tableau 3 - Résultats de l'évaluation de l'environnement
à la mine souterraine n° 4

Moteur : F10L413FW Deutz machine : chargeur-transporteur JS 500

Méthode de traitement des gaz d'échappement	Constituant	Concentration de fond	Conc. en présence d'un chargeur-transporteur	Conc. en présence d'un chargeur-transporteur moins concentration de fond	Concentration dans l'air de retour	Concentration dans l'air de retour moins concentration de fond
Épurateur catalytique	CO_2 (valeur mesurée) (%)	0,042	0,079	0,037	0,057	0,015
	CO (valeur mesurée) (ppm)	0,00	0,30	0,30	,25	0,25
	NO (valeur mesurée) (ppm)	0,63	3,23	2,60	1,45	0,82
	NO_2 (valeur mesurée) (ppm)	0,03	0,93	0,90	0,31	0,28
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) (mg/m^3)	0,58	2,78	2,20	11,50	10,92
	Poussières combustibles inhalables (valeur corrigée) (mg/m^3)	0,32	0,86	0,54	0,93	0,61
	Poussières combustibles inhalables (valeur ajustée) (mg/m^3)			0,54		0,61
	SO_2 (valeur calculée) (ppm)			0,29		0,12
	IQA (valeur mesurée) (-)			1,61		1,35
	IQA (valeur corrigée) (-)			1,61		1,35
	Aération (m^3/s)				15,8	
	(pi^3/min)				33500	
Filtre DPF, en céramique, non-assisté	CO_2 (valeur mesurée) (%)	0,044	0,098	0,054	0,068	0,024
	CO (valeur mesurée) (ppm)	0,00	1,80	1,80	0,53	0,53
	NO (valeur mesurée) (ppm)	0,66	5,29	4,63	2,10	1,44
	NO_2 (valeur mesurée) (ppm)	0,09	0,19	0,10	0,14	0,05
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) (mg/m^3)	0,76	1,86	1,10	9,79	9,03
	Poussières combustibles inhalables (valeur corrigée) (mg/m^3)	0,43	0,46	0,03	1,92*	1,49*
	Poussières combustibles inhalables (valeur ajustée) (mg/m^3)	0,43	0,46	0,03	0,50	0,07
	SO_2 (valeur calculée) (ppm)			0,46		0,21
	IQA (valeur mesurée) (-)			0,56		-
	IQA (valeur corrigée) (-)			0,39		0,20
	Aération (m^3/s)				13,4	
	(pi^3/min)				28300	
Évaluations (se reporter aux calculs de l'Annexe I) :						
amélioration de l'environnement, valeur mesurée				65,2		neg.
amélioration de l'environnement, valeur corrigée				75,8		85,2
efficacité du catalyseur à réduire la teneur en CO, valeur mesurée				83,3		52,8
efficacité du catalyseur à réduire la teneur en CO, valeur corrigée				75,7		24,4
efficacité du filtre DPF à éliminer la suie, valeur mesurée				94,4		neg.
efficacité du filtre DPF à éliminer la suie, valeur corrigée				96,2		92,4

*Trop élevée, manifestement erronée; valeur établie au prorata à partir de la valeur mesurée de l'efficacité du catalyseur.
Poussières combustibles inhalables, c.-à-d. (0,93/0,86) x 0,46 = 0,50.

Tableau 4 - Lignes directrices relatives, concernant les concentrations de CO_2 permettant de diminuer la pollution avec un épurateur catalytique et un filtre DPF en céramique

Station	N° de la mine moteur machine traitement	N° 1 F8L714 Chargeur-transporteur JS 500		N° 2 F10L413FW Wagner ST8		N° 4 F10L413FW Chargeur-transporteur JS 500	
		catalyseur	Filtre DPF	catalyseur	Filtre DPF	catalyseur	Filtre DPF
Chargeur-transporteur, valeur nette		0,070	0,062	**	0,085	0,037	0,054
	CO_2, valeur mesurée	3,02	1,96	-	1,25	1,61	0,56
	IAQ, valeur mesurée	0,070	0,095	-	0,204	0,069	0,289
	Conc. de CO_2 permettant de diminuer la pollution, valeur mesurée*	2,19 0,095	1,24 0,150	- -	0,91 0,28	1,61 0,069	0,39 0,415***
Air de retour	CO_2, valeur mesurée	*	0,038	0,092	0,108	0,015	**
	IAQ, valeur mesurée-	-	1,10	2,29	1,25	1,35	-
	Conc. de CO_2 permettant de diminuer la pollution, valeur mesurée	-	0,104	0,121	0,259	0,033	-
	IAQ, valeur corrigée	-	0,82	1,74	0,93	1,35	-
	Conc. de contrôle du CO_2, valeur corrigée	-	0,139	0,159	0,348***	0,033	-

*Conc. du CO_2 manifestement erronée,

**Conc. de poussières combustibles inhalables manifestement erronée.

***Ces concentrations de CO_2 ne sont pas valides, car d'autres constituants, comme le NO et le SO_2, atteignent leurs concentrations limites (TLV) à des concentrations inférieures de CO_2.

Tableau 5 - Concentration moyenne pondérée sur le temps des NO_x/NO_2 déterminée avec un échantillonneur de Palmes monté sur un chargeur-transporteur à la mine n° 4

Jour	Durée d'échantil lonnage (h)	NO_2 h)	NO_2 (ppm)	NO_2 Moyenne (ppm)	NO_2 écart type (ppm)	NO_2 coefficient de variation	NO_x h)	NO_x (ppm)	NO_x Moyenne (ppm)	NO_x écart type (ppm)	NO_x coefficient de variation
1	3,70	3,87 3,13 2,62	1,05 0,84 0,71	0,87	0,14	16,1	13,3 13,1 12,6	3,60 3,54 3,40	3,51	0,09	2,4
2	4,90	4,77 4,59 4,92	0,97 0,94 1,00	0,97	0,02	2,8	22,5 16,5 18,6	4,59 3,37 3,79	3,92	0,51	13,0
3	4,87	5,03 5,27 4,76	1,03 1,08 0,98	1,03	0,04	4,1	21,6 26,3 26,0	4,44 5,40 5,52	5,12	0,48	9,5
4	4,92	4,28 4,07 4,37	0,87 0,83 0,89	0,86	0,02	2,9	18,8 20,3 21,1	3,82 4,12 4,29	4,08	0,20	4,7
5	5,08	0,72 1,17 0,81	0,14 0,23 0,16	0,18	0,04	21,4	22,3 22,3 22,8	4,39 4,40 4,48	4,42	0,04	0,9
6	4,07	1,13 0,68 1,60	0,28 0,17 0,39	0,28	0,09	32,5	29,6 32,9 30,4	7,26 8,09 7,47	7,60	0,35	4,6
7	5,15	0,77 0,63 0,59	0,15 0,12 0,11	0,13	0,02	12,1	22,4 22,5 23,4	4,35 4,38 4,54	4,42	0,08	1,9

Tableau 6 - Comparaison aux valeurs moyennes intégrées en temps réel des résultats obtenus pour les NO_x/NO_2 avec un échantillonneur de Palmes à la station située au chargeur-transporteur à la mine n° 4

Jours	Durée d'échantillonnage (h)	NO (ppm) x — Valeurs intégrées avec un échantillonneur de Palmes		NO$_2$ (ppm) — Valeurs intégrées de Palmes		CO (%) — Valeur pondérée sur le temps, échantillon prélevé dans un sac	Valeurs intégrées
1 - 4 catalyseur	4,58	1,82	2,50	0,25	0,26	0,057	0,068
5 - 7 filtre	4,44	2,24	1,86	0,13	0,12	0,068	0,075

Tableau 7 - Régénération des filtres et températures des cycles à la mine n° 1.

Type de cycle		A		B		C	
emplacement du filtre		CG	CD	CG	CD	CG	CD
Température maximale du cycle	(°C)	416	507	452	528	440	508
	(°F)	781	945	846	982	824	946
Temps pendant lequel la température est supérieure 482°C/900°F	(%)	0	24	0	53	0	37
Température moyenne du cycle	(°C)	359	435	402	468	408	464
	(°F)	671	815	756	874	766	867
Auto-regeneration apparente ?		Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui

Tableau 8 - Régénération des filtres et température des cycles à la mine n° 2

Type de cycle		D	E	Fonctionnement sur un rampe	
Emplacement du filtre		CG	CG	non-chargé	chargé
Température maximale de cycle	(°C)	480	550	470	515
	(°F)	896	1022	878	959
Temps pendant lequel la temperature est supérieure à 482°C/900°F	(%)	0	29	-	-
Température moyenne du cycle	(°C)	382	427	-	-
	(°F)	720	800	-	-
Auto-regénération apparente ?		Improbable	Oui	Oui	Oui

Tableau 1 - Résultats de l'évaluation de l'environnement à la mine souterraine n° 1

Moteur: F8L714 Deutz; machine: JARVIS CLARK JS500

Méthode de traitement des gaz d'échappement	Constituant	Station: Concentration de fond	Conc. en présence d'un chargeur-transporteur	Conc. en présence d'un chargeur-transporteur moins concentration de fond	Concentration dans l'air de retour	Concentration dans l'air de retour moins concentration de fond
Épurateur catalytique	CO_2 (%), valeur mesurée	0,084	0,154	0,070	0,101	0,017*
	CO (ppm), valeur mesurée	1,92	2,92	1,00	2,57	0,65
	NO (ppm), valeur mesurée	0,38	5,63	5,25	2,48	2,10
	NO_2 (ppm), valeur mesurée	0,47	0,93	0,46	0,50	0,03**
	Matières particulaires totales (mg/m^3), valeur mesurée	0,05	2,22	2,17	1,26	1,21
	Poussières combustibles inhalables (mg/m^3), valeur mesurée	0,06	1,07	1,01	0,72	0,66
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) + H_2SO_4			1,26		0,79
	Poussières combustibles inhalables (valeur corrigée) (mg/m^3)			0,81		0,49
	SO_2 (valeur calculée) (ppm)			0,55		0,30
	IQA (valeur mesurée) (-)			2,56		1,07
	IQA (valeur mesurée) + H_2SO_4			3,02		1,70
	IQA (valeur corrigée) (-)			2,19		1,35
	Ventilation (m^3/s)				16,1	
	(pi^3/min)				34000	
Filtre DPF, en céramique, non-assisté	CO_2 (valeur mesurée) (%)	0,064	0,126	0,062	0,102	0,038
	CO (valeur mesurée) (ppm)	1,64	3,08	1,44	2,59	0,95
	NO (valeur mesurée) (ppm)	0,67	4,85	4,18	3,22	2,55
	NO_2 (valeur mesurée) (ppm)	0,52	1,17	0,65	0,88	0,36
	Matières particulaires totales (valeur mesurée) (mg/m^3)	0,16	1,83	1,67	1,08	0,92
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) (mg/m^3)	0,05	0,64	0,59	0,36	0,31
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) + H_2SO_4			0,65		0,35
	Poussières combustibles inhalables (valeur corrigée) (mg/m^3)			0,20		0,21
	SO_2 (valeur calculée) (ppm)			0,53		0,32
	IQA (valeur mesurée) (-)			1,82		1,00
	IQA (valeur mesurée) + H_2SO_4			1,96		1,10
	IQA (valeur corrigée) (-)			1,24		0,82
	Aération (m^3/s)				17,1	
	(pi^3/min)				36250	
Évaluations (se reporter aux calculs de l'Annexe I):						
amélioration de l'environnement, y compris la conc. du SO_4, valeur mesurée				35,1		35,2
amélioration de l'environnement, valeur corrigée				43,4		39,3
efficacité du catalyseur à réduire la teneur en CO, valeur mesurée				30,6		31,6
efficacité du catalyseur à réduire la teneur en CO, valeur mesurée				38,4		31,6
efficacité du filtre DPF à éliminer la suie, valeur mesurée				48,4		55,7
efficacité du filtre DPF à éliminer la suie, valeur corrigée				72,1		42,4

*Trop faible, manifestement erronée; on a utilisé pour le filtre une valeur de 0,038.
**Trop faible, manifestement erronée; on a utilisé la valeur établie au prorata pour le filtre.

Tableau 2 - Résultats de l'évaluation de l'environnement à la mine souterraine n° 2

Moteur: F10L413FW Deutz; machine: JARVIS CLARK JS500

Méthode de traitement des gaz d'échappement	Constituant	Station: Concentration de fond	Conc. en présence d'un chargeur-transporteur	Conc. en présence d'un chargeur-transporteur moins concentration de fond	Concentration dans l'air de retour	Concentration dans l'air de retour moins concentration de fond
Épurateur catalytique	CO_2 (valeur mesurée) (%)	0,102	0,174	0,072	0,194	0,092
	CO (valeur mesurée) (ppm)	2,17	3,80	1,63	3,97	1,80
	NO (valeur mesurée) (ppm)	0,90	6,01	5,11	6,48	5,58
	NO_2 (valeur mesurée) (ppm)	0,16	0,54	0,38	0,67	0,51
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) (mg/m^3)	0,27	0,61	0,34	1,06	0,79
	Poussières combustibles inhalables (valeur corrigée) (mg/m^3)	0,17	0,39	0,22	0,66	0,49
	Poussières combustibles inhalables (valeur ajustée) (mg/m^3)			0,22		0,49
	SO_2 (valeur calculée) (ppm)			0,57		0,72
	IQA (valeur mesurée) (-)			1,30		2,29
	IQA (valeur corrigée) (-)			1,07		1,74
	Aération (m^3/s)				11,7	
	(pi^3/min)				24800	
Filtre DPF, en céramique, non-assisté	CO_2 (valeur mesurée) (%)	0,079	0,164	0,085	0,187	0,108
	CO (valeur mesurée) (ppm)	1,00	3,07	2,07	3,57	2,57
	NO (valeur mesurée) (ppm)	1,08	6,91	5,83	6,65	5,57
	NO_2 (valeur mesurée) (ppm)	0,19	0,52	0,33	0,52	0,33
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) (mg/m^3)	0,24	0,50	0,26	0,45	0,21
	Poussières combustibles inhalables (valeur corrigée) (mg/m^3)	0,15	0,32	0,17	0,29	0,14
	Poussières combustibles inhalables (valeur ajustée) (mg/m^3)			0,14		0,12
	SO_2 (valeur calculée) (ppm)			0,72		0,92
	IQA (valeur mesurée) (-)			1,25		1,25
	IQA (valeur corrigée) (-)			0,91		0,94
	Aération (m^3/s)				16,8	
	(pi^3/min)				35500	
Évaluations (se reporter aux calculs de l'Annexe I):						
amélioration de l'environnement, valeur mesurée				3,8		45,4
amélioration de l'environnement, valeur corrigée				15,0		46,0
efficacité du catalyseur à réduire la teneur en CO, valeur mesurée				21,3		30,0
efficacité du catalyseur à réduire la teneur en CO, valeur corrigée				7,4		17,6
efficacité du filtre DPF à éliminer la suie, valeur mesurée				23,5		73,4
efficacité du filtre DPF à éliminer la suie, valeur corrigée				36,4		75,5

Tableau 3 - Résultats de l'évaluation de l'environnement
à la mine souterraine n° 4

Moteur: F10L413FW Deutz machine: chargeur-transporteur JS 500

Méthode de traitement des gaz d'échappement	Constituant	Concentration de fond	Conc. en présence d'un chargeur-transporteur	Conc. en présence d'un chargeur-transporteur moins concentration de fond	Concentration dans l'air de retour	Concentration dans l'air de retour moins concentration de fond
Épurateur catalytique	CO_2 (valeur mesurée) (%)	0,042	0,079	0,037	0,057	0,015
	CO (valeur mesurée) (ppm)	0,00	0,30	0,30	0,25	0,25
	NO (valeur mesurée) (ppm)	0,63	3,23	2,60	1,45	0,82
	NO_2 (valeur mesurée) (ppm)	0,03	0,93	0,90	0,31	0,28
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) (mg/m^3)	0,58	2,78	2,20	11,50	10,92
	Poussières combustibles inhalables (valeur corrigée) (mg/m^3)	0,32	0,86	0,54	0,93	0,61
	Poussières combustibles inhalables (valeur ajustée) (mg/m^3)			0,54		0,61
	SO_2 (valeur calculée) (ppm)			0,29		0,12
	IQA (valeur mesurée) (-)			1,61		1,35
	IQA (valeur corrigée) (-)			1,61		1,35
	Aération (m^3/s)				15,8	
	(pi^3/min)				33500	
Filtre DPF, en céramique, non-assisté	CO_2 (valeur mesurée) (%)	0,044	0,098	0,054	0,068	0,024
	CO (valeur mesurée) (ppm)	0,00	1,80	1,80	0,53	0,53
	NO (valeur mesurée) (ppm)	0,66	5,29	4,63	2,10	1,44
	NO_2 (valeur mesurée) (ppm)	0,09	0,19	0,10	0,14	0,05
	Poussières combustibles inhalables (valeur mesurée) (mg/m^3)	0,76	1,86	1,10	9,79	9,03
	Poussières combustibles inhalables (valeur corrigée) (mg/m^3)	0,43	0,46	0,03	1,92[a]	1,49[a]
	Poussières combustibles inhalables (valeur ajustée) (mg/m^3)	0,43	0,46	0,03	0,50	0,07
	SO_2 (valeur calculée) (ppm)			0,46		0,21
	IQA (valeur mesurée) (-)			0,56		-
	IQA (valeur corrigée) (-)			0,39		0,20
	Aération (m^3/s)				13,4	
	(pi^3/min)				28300	
Évaluations (se reporter aux calculs de l'Annexe I):						
amélioration de l'environnement, valeur mesurée				65,2		neg,
amélioration de l'environnement, valeur corrigée				75,8		85,2
efficacité du catalyseur à réduire la teneur en CO, valeur mesurée				83,3		52,8
efficacité du catalyseur à réduire la teneur en CO, valeur corrigée				75,7		24,4
efficacité du filtre DPF à éliminer la suie, valeur mesurée				94,4		neg,
efficacité du filtre DPF à éliminer la suie, valeur corrigée				96,2		92,4

[a]Trop élevée, manifestement erronée; valeur établie au prorata à partir de la valeur mesurée de l'efficacité du catalyseur.
Poussières combustibles inhalables, c.-à-d. (0,93/0,86) x 0,46 = 0,50.

Tableau 4 - Lignes directrices relatives, concernant les concentrations de CO_2 permettant de diminuer la pollution avec un épurateur catalytique et un filtre DPF en céramique

Station	N° de la mine moteur machine traitement	N° 1 F8L714 Chargeur-transporteur JS 500 catalyseur	 Filtre DPF	N° 2 F10L413FW Wagner ST8 catalyseur	 Filtre DPF	N° 4 F10L413FW Chargeur-transporteur JS 500 catalyseur	 Filtre DPF
Chargeur-transporteur, valeur nette		0,070	0,062	**	0,085	0,037	0,054
	CO_2, valeur mesurée	3,02	1,96	-	1,25	1,61	0,56
	IAQ, valeur mesurée	0,070	0,095	-	0,204	0,069	0,289
	Conc, de CO_2 permettant	2,19	1,24	-	0,91	1,61	0,39
	de diminuer la pollution, valeur mesurée*	0,095	0,150	-	0,28	0,069	0,415***
Air de retour	CO_2, valeur mesurée	*	0,038	0,092	0,108	0,015	**
	IAQ, valeur mesurée-	-	1,10	2,29	1,25	1,35	-
	Conc. de CO_2 permettant de diminuer la pollution, valeur mesurée	-	0,104	0,121	0,259	0,033	-
	IAQ, valeur corrigée	-	0,82	1,74	0,93	1,35	-
	Conc. de contrôle du CO_2, valeur corrigée	-	0,139	0,159	0,348***	0,033	-

*Conc. du CO_2 manifestement erronée,

**Conc. de poussières combustibles inhalables manifestement erronée.

***Ces concentrations de CO_2 ne sont pas valides, car d'autres constituants, comme le NO et le SO_2, atteignent leurs concentrations limites (TLV) à des concentrations inférieures de CO_2.

Tableau 5 - Concentration moyenne pondérée sur le temps des NO_x/NO_2 déterminée avec un échantillonneur de Palmes monté sur un chargeur-transporteur à la mine n° 4

Jour	Durée d'échantil lonnage (h)	NO_2 (ppm h)	NO_2 (ppm)	NO_2 Moyenne	NO_2 Écart type	NO_2 coefficient de variation	NO_x (ppm h)	NO_x (ppm)	NO_x Moyenne	NO_x écart type	NO_x coefficient de variation
1		3,87	1,05				13,3	3,60			
	3,70	3,13	0,84	0,87	0,14	16,1	13,1	3,54	3,51	0,09	2,4
		2,62	0,71				12,6	3,40			
2		4,77	0,97				22,5	4,59			
	4,90	4,59	0,94	0,97	0,02	2,8	16,5	3,37	3,92	0,51	13,0
		4,92	1,00				18,6	3,79			
3		5,03	1,03				21,6	4,44			
	4,87	5,27	1,08	1,03	0,04	4,1	26,3	5,40	5,12	0,48	9,5
		4,76	0,98				26,0	5,52			
4		4,28	0,87				18,8	3,82			
	4,92	4,07	0,83	0,86	0,02	2,9	20,3	4,12	4,08	0,20	4,7
		4,37	0,89				21,1	4,29			
5		0,72	0,14				22,3	4,39			
	5,08	1,17	0,23	0,18	0,04	21,4	22,3	4,40	4,42	0,04	0,9
		0,81	0,16				22,8	4,48			
6		1,13	0,28				29,6	7,26			
	4,07	0,68	0,17	0,28	0,09	32,5	32,9	8,09	7,60	0,35	4,6
		1,60	0,39				30,4	7,47			
7		0,77	0,15				22,4	4,35			
	5,15	0,63	0,12	0,13	0,02	12,1	22,5	4,38	4,42	0,08	1,9
		0,59	0,11				23,4	4,54			

Tableau 6 - Comparaison aux valeurs moyennes intégrées en temps réel des résultats obtenus pour les NO_x/NO_2 avec un échantillonneur de Palmes à la station située au chargeur-transporteur à la mine n° 4

Jours	Durée d'échantillonnage (h)	NO_x (ppm)		NO_2 (ppm)		CO_2 (%)	
		Valeurs intégrées avec un échantillonneur de Palmes		Valeurs intégrées de Palmes		Valeur pondérée sur le temps, échantillon prélevé dans un sac	Valeurs intégrées
1 - 4 catalyseur	8,58	1,82	2,50	0,25	0,26	0,057	0,068
5 - 7 filtre	8,44	2,24	1,86	0,13	0,12	0,068	0,075